

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 19 NOV 1999

WIPO

PCT

ETU

**Bescheinigung**

EP 99 / 7655

Herr Aloys W o b b e n in Aurich/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der  
Bezeichnung

"Azimutantrieb für Windenergieanlagen"

am 5. Mai 1999 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht und erklärt, daß  
er dafür die Innere Priorität der Anmeldung in der Bundesrepublik Deutschland vom  
26. November 1998, Aktenzeichen 198 54 683.1, in Anspruch nimmt.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-  
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol  
F 03 D 7/00 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 8. Oktober 1999

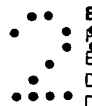
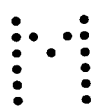
**Deutsches Patent- und Markenamt**

**Der Präsident**

Im Auftrag

Brand

Aktenzeichen: 199 20 504.3



**Bremen**  
Patentanwälte  
European Patent Attorneys  
Dipl.-Ing. Günther Eisenfuhr  
Dipl.-Ing. Dieter K. Speiser  
Dr.-Ing. Werner W. Rabus  
Dipl.-Ing. Jürgen Brügge  
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt  
Dipl.-Ing. Klaus G. Göken  
Jochen Ehlers  
Patentanwalt  
Dipl.-Ing. Mark Andres

Rechtsanwälte  
Ulrich H. Sander  
Sabine Richter

Martinistrasse 24  
D-28195 Bremen  
Tel. +49-(0)421-36 35 0  
Fax +49-(0)421-36 35 35 (G3)  
Fax +49-(0)421-328 8631 (G4)  
mail@eisenfuhr.com

**Hamburg**  
Patentanwalt  
Dipl.-Phys. Frank Meier  
Rechtsanwälte  
Christian Spintig  
Rainer Böhm

**München**  
Patentanwälte  
European Patent Attorneys  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Rainer Fritzsche  
Lbm.-Chem. Gabriele Leißler-Ger  
Patentanwalt  
Dipl.-Chem. Dr. Peter Schuler

**Berlin**  
Patentanwälte  
European Patent Attorneys  
Dipl.-Ing. Henning Christiansen  
Dipl.-Ing. Jutta Kaden  
Patentanwalt  
Dipl.-Ing. Joachim von Oppen

**Alicante**  
European Trademark Attorney  
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt

Bremen, den 3. Mai 1999

Unser Zeichen: W 1759 KGG/ssi/pls/cmu

Anmelder/Inhaber: WOBLEN, Aloys

Amtsaktenzeichen: Neuanmeldung

Aloys Wobben, Argestraße 19, 26607 Aurich

### Azimutantrieb für Windenergieanlagen

Windenergieanlagen haben in der Regel für die Windrichtungsnachführung einen aktiven Antrieb. Dieser verdreht das Maschinenhaus der Windenergieanlage so, daß die Rotorblätter des Rotors in Richtung des Windes ausgerichtet werden. Dieser für die Windrichtungsnachführung benötigte Antrieb ist regelmäßig ein Azimutantrieb, welcher sich mit den zugehörigen Azimutlagern gewöhnlich zwischen Turmkopf und dem Maschinenhaus befindet. Bei kleinen Windenergieanlagen genügt ein Verstellantrieb, größere Windenergieanlagen sind in der Regel mit mehreren Azimutantrieben ausgestattet.

Bei der Windrichtungsnachführung des Maschinenhauses liefert ein Betriebswind-Meßsystem einen Mittelwert für die Windrichtung über einen gewissen Zeitraum, z.B. 10 Sekunden. Dieser Mittelwert wird immer wieder mit der momentanen Azimutposition des Maschinenhauses verglichen. Sobald eine Abweichung einen bestimmten Wert überschreitet, wird das Maschinenhaus entsprechend nachgestellt, so daß die Windrichtungsabweichung des Rotors, der Gierwinkel, möglichst gering ist, um Leistungsverluste zu vermeiden. Wie eine Windrichtungsnachführung bei bekannten Windenergieanlagen durchgeführt wird, ist in "Windkraftanlagen", Erich Hau, 2. Auflage, 1995, Seite 268 ff. bzw. 316 ff. beschrieben.

Bei bisher bekannten Windenergieanlagen übernimmt eine motorische Windrichtungsnachführung des Maschinenhauses, das Azimutverstellsystem, die Aufgabe,

den Rotor und das Maschinenhaus automatisch nach der Windrichtung auszurichten. Funktionell gesehen ist die Windrichtungsnachführung eine selbständige Baugruppe. Vom konstruktiven Standpunkt aus betrachtet, bildet sie den Übergang des Maschinenhauses zum Turmkopf. Ihre Komponenten sind teils im Maschinenhaus, teils in den Turmkopf integriert. Das Gesamtsystem der Windrichtungsnachführung besteht aus den Komponenten Stellantrieb, Haltebremsen, Verriegelungseinrichtung, Azimutlager und Regelungssystem. Diese Komponenten arbeiten wie folgt:

Für den Stellantrieb gibt es ähnlich wie für den Rotorblattverstellantrieb die Alternative hydraulisch oder elektrisch. Beide Ausführungen sind bei Windenergieanlagen üblich. Kleine Anlagen verfügen meistens über unregelmäßige elektrische Antriebsmotoren. Bei großen Anlagen sind die hydraulischen Stellantriebe in der Überzahl.

Um zu vermeiden, daß das Giermoment um die Drehachse nach erfolgter Nachführung von Antriebsmotoren gehalten werden muß, ist eine Drehhemmung oder eine Gierbremse erforderlich. Anderenfalls wäre die Lebensdauer der Antriebsaggregate oder der vorgeschalteten Getriebe kaum zu gewährleisten. Kleine Anlagen begnügen sich meistens mit einer Drehhemmung im Azimutlager, für größere Anlagen sind mehrere lösbare Haltebremsen bekannt. Diese greifen auf einen Bremsring an der Innenseite des Turms oder umgekehrt an einem Ring am Maschinenhaus an. Während des Nachführvorgangs sind eine oder zwei Azimutbremsen im Eingriff, um die erforderliche Dämpfung der Verstelldynamik zu gewährleisten. Der Stellantrieb muß dabei so ausgelegt werden, daß er gegen diese Reibungsdämpfung nachführen kann. Das Azimut- oder Turmkopflager wird regelmäßig als Wälzlager ausgeführt.

In Figur 7 ist eine Teilschnittansicht eines bekannten Windrichtungsnachführungssystems mit elektrischem Stellantrieb der Westinghaus WTG-0600 dargestellt.

Während des Betriebs einer Windenergieanlage mit turbulenten Winden treten - in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Rotors - sehr hohe Kräfte und damit verbundene hohe und häufige Lastspitzen in den Azimutantrieben auf.

Wenn mehr als ein Azimutantrieb vorgesehen ist, kommt es zusätzlich zu einer sehr hohen Unsymmetrie in den einzelnen Antrieben. Diese Antriebe haben eine Übersetzung mittels eines Getriebes von ca. 15.000. Kleinste Abweichungen in der Verzahnung am Umfang des Trumlagers führen sofort zu sehr starken Unsymmetrien,

wenn mehr als ein Antrieb, z.B. vier Azimutantriebe, am Umfang des Trumlagers mit integrierter Verzahnung angebracht ist. Wegen der hohen Getriebeübersetzung entsprechen diese kleinen Abweichungen auf der Eingangsseite des Antriebs bis zu 15 bis 20 Umdrehungen auf der Ausgangsseite.

Das bedeutet im Ergebnis, daß während und nach jedem Verdrehvorgang des Maschinenhauses die gesamte Last und das gesamte Drehmoment gleichzeitig auf einzelne Antriebe, wenn möglich, gleichmäßig verteilt werden muß. Zusätzlich sollen die Antriebe bei starken Azimutlasten während der Stillstandszeiten bei zu hohen Lasten nachgeben und eine leichte Drehung des Maschinenhauses ermöglichen, damit sich eine entsprechende Entlastung einstellen kann.

Ferner treten während der Windnachführung des Maschinenhauses der Windenergieanlage bei starken Turbulenzen auch entsprechend hohe Drehmomente auf. Diese regen die Azimutantriebe derart an, daß die Motoren gegeneinander schwingen. Die Getriebe mit ihrem sehr hohen Übersetzungsverhältnis reagieren dabei wie eine Feder und große Drehmomentschwankungen der einzelnen Antriebe sind die Folge.

Es ist Aufgabe der Erfindung, den Azimutantrieb für Windenergieanlagen zu verbessern, so daß die vorstehend genannten Probleme beseitigt werden, eine konstruktiv einfachen Azimutantrieb zu schaffen, eine gleichmäßige Lastenverteilung für jeden Azimutantrieb zu gewährleisten und unerwünschte Drehmomentschwankungen der einzelnen Antriebe zu vermeiden.

Erfindungsgemäß wird eine Windenergieanlage nach Anspruch 1 vorgeschlagen. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Die erfindungsgemäße Windenergieanlage mit einem Maschinenhaus, das einen Rotor mit wenigstens einem Rotorblatt aufnimmt, zeichnet sich dadurch aus, daß die Verstelleinrichtung zur Verstellung des Maschinenhauses gemäß der jeweiligen Windrichtung als Azimutantrieb mindestens einen Drehstrom-Asynchronmotor aufweist, der während der Verstellung des Maschinenhauses mit Drehstrom und während der Stillstandszeit des Maschinenhauses zeitweise oder vollständig mit Gleichstrom beaufschlagt wird.

Nach dem Verstellvorgang mittels Drehstrom wird die Motoren abgeschaltet und erzeugt somit kein Drehmoment mehr. Um nunmehr auch für eine Bremswirkung des Antriebsmotors zu sorgen und während der Stillstandszeit beim Auftreten von

Lastspitzen noch ein ausreichendes Bremsmoment zu erhalten, wird der Drehstrom-Asynchronmotor unmittelbar nach der Trennung vom Drehstromnetz mit einem Gleichstrom beaufschlagt. Dieser Gleichstrom erzeugt ein stehendes Magnetfeld in den Asynchronmotor, der damit sofort abgebremst wird. Die Gleichstromversorgung bleibt möglichst während der gesamten Stillstandszeit bestehen.

Zur Unterdrückung von unerwünschten Drehmomentschwankungen wird erfindungsgemäß eine Drehmomentkontrolle vorgesehen. Die Abbremsung des Drehstrom-Asynchronmotors kann linear mit Hilfe der Höhe des Gleichstroms eingestellt werden. Damit ergibt sich eine einfache Drehmomentkontrolle für die Azimutantriebe von Windenergieanlagen während des eigentlichen Stillstandes.

Ferner werden, wenn die Verstelleinrichtung mehrere Drehstrom-Asynchronmotoren aufweist, die Drehstrom-Asynchronmotoren mit Hilfe eines Stromtransformators in Gegenkopplung gekoppelt, so daß der einzelne Antrieb stabilisiert ist und der bislang unerwünschte Federeffekt unterdrückt wird.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels in den Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- |        |  |
|--------|--|
| Fig. 1 | eine schematische Anordnung von vier Azimutantrieben einer Verstelleinrichtung am Maschinenhaus; |
| Fig. 2 | eine Drehmoment/Drehzahl-Kennlinie eines Drehstrom-Asynchronmotors;                              |
| Fig. 3 | die Kennlinie eines Drehstrom-Asynchronmotors im Gleichstrombetrieb;                             |
| Fig. 4 | eine alternative Darstellung zur Fig. 3;   |
| Fig. 5 | ein Blockschaltbild einer Stromtransformatorkopplung von zwei Asynchron-Azimutantrieben;         |
| Fig. 6 | Schaltbild für einen Azimutmotor   |
| Fig. 7 | Teilschnittansicht einer bekannten Windrichtungsnachführung mit elektrischem Stellantrieb.       |

Windenergieanlagen haben in der Regel für die Windrichtungsnachführung einen aktiven Antrieb. Dieser verdreht den Maschinenkopf der Windenergieanlage so, daß die Rotorblätter des Rotors in Richtung des Windes optimal ausgerichtet werden. Der aktive Antrieb für die Windrichtungsnachführung ist ein Azimutantrieb 1 mit dem zugehörigen Azimutlager 2 und befindet sich in der Regel zwischen dem Turmkopf und dem Maschinenhaus. Bei kleinen Windenergieanlagen genügt ein

Azimutantrieb, größere Windenergieanlagen sind in der Regel mit mehreren Antrieben, zum Beispiel vier Antrieben, wie in Figur 1 dargestellt. Die vier Antriebe 1 sind gleichmäßig über dem Umfang des Turmkopfes 3 verteilt (auch eine ungleichmäßige Verteilung ist möglich).

Während des Betriebs einer Windenergieanlage mit turbulenten Winden treten - in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Rotors - sehr hohe Kräfte und damit verbundene hohe und häufige Lastspitzen in den Azimutantrieben auf.

Wenn die Verstellrichtung zur Verstellung des Maschinenkopfes mehr als einen Azimutantrieb 1 aufweist, kommt es zusätzlich zu einer sehr hohen Unsymmetrie in den einzelnen Antrieben 1. Diese Antriebe haben ein Übersetzungsgetriebe 4 (Getriebe; nicht dargestellt) mit einer Übersetzung von ca. 15.000. Kleinste Abweichungen in der Verzahnung der Übersetzungsgetriebe am Umfang des Turmlagers führen sofort zu sehr starken Unsymmetrien, wenn mehr als ein Antrieb, am Umfang des Turmlagers mit integrierter Verzahnung angebracht ist. Wegen der hohen Getriebeübersetzung entsprechen diese kleinen Abweichungen auf der Eingangsseite des Antriebs bis zu 15 bis 20 Umdrehungen auf der Ausgangsseite.

Das bedeutet, daß während und nach jedem Verdrehvorgang des Turmkopfes die gesamte Last/Drehmoment gleichmäßig auf einzelne Antriebe verteilt werden muß. Zusätzlich sollen die Antriebe bei starken Azimutlasten während der Stillstandszeiten - des Turmkopfes - bei zu hohen Lasten nachgeben und eine leichte Drehung des Maschinenkopfes ermöglichen.

Jeder Azimutantrieb 1 weist einen eigenen Motor 5 auf und die Motoren sind untereinander verschaltet und werden gemeinsam gesteuert. Wenn während der Windnachführung des Maschinenkopfes der Windenergieanlage - verursacht durch starke Turbulenzen - starke Drehmomente auftreten, regen diese Drehmomente die Azimutantriebe an, daß die Motoren gegeneinander schwingen oder zu Schwingungen neigen. Die Getriebe 4 mit ihrem sehr hohen Übersetzungsverhältnis reagieren dabei wie eine Feder, was große Drehmomentenschwankungen der einzelnen Antriebe zur Folge hat.

Zur gleichmäßigen Aufteilung der Lasten während der Zeit, in der das Maschinenhaus nicht verdreht wird, zu gewährleisten, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, als Antriebsmotoren zum Azimutantrieb einen Drehstrom-Asynchronmotor als Asynchron-Antriebsmaschine einzusetzen. Deren Drehmoment/Drehzahl-Kennlinie ist in Figur 2 dargestellt.  $M_A$  bedeutet Anfangsdrehmoment,  $M_K$  bedeutet Kippmoment.

Nach dem Verstellvorgang des Maschinenhauses werden die vier Drehstrom-Asynchron-Motoren (ASM) abgeschaltet und erzeugen somit kein Drehmoment mehr. Um die Motoren gleichmäßig abzubremsen und auch danach noch ein Bremsmoment zu erhalten, werden die Motoren umgehend nach der Trennung vom Drehstromnetz, möglichst sofort, mit einem Gleichstrom beauftragt (siehe Figur 6a).

Dieser Gleichstrom erzeugt ein stehendes Magnetfeld in den Motoren (Asynchronmaschine), die damit sofort abgebremst werden. Diese Gleichstromversorgung bleibt möglichst während der gesamten Stillstandzeit bestehen und kann in der Amplitude geregelt werden.

Nach dem Verstellvorgang werden die ASM-Antriebe mittels einer Regeleinrichtung - in Figur 6b - mit einem geregelten Gleichstrom versorgt. Langsame Drehbewegungen des Turmkopfes, die durch unsymmetrische Windböen verursacht werden, werden durch einen kleinen Gleichstrom (ca. 10% vom Nennstrom) nur gedämpft, aber zugelassen. Schnellere Drehbewegungen werden durch einen angepassten höheren Gleichstrom, und damit höheren Bremsmoment, vermieden. Bei sehr schnellen Drehbewegungen wird der Gleichstrom bis auf den Nennstrom des Motors angehoben.

Die Drehmomenten/Drehzahl-Kennlinie eines Asynchronmotors im Gleichstrombetrieb ist in Figur 3 dargestellt. Der Antriebsmotor erzeugt mit der Gleichstrommagnetisierung im Stillstand kein Drehmoment. Aber mit steigender Drehzahl - bis etwa 6 % der Nenndrehzahl - steigt das erzeugte Drehmoment linear an und das symmetrisch in beide Drehrichtungen. Gemäß dieser Kennlinie wird die auftretende Last auch gleichmäßig auf alle Azimutantriebe verteilt und es stellt sich passiv immer ein Gleichgewicht ein.

Zur Drehmomentkontrolle der Azimutantriebe kann die Steilheit der Bremskurve linear mit der Höhe des Gleichstroms eingestellt werden. Dies ist in Figur 4 dargestellt. Damit ergibt sich eine einfache Drehmomentkontrolle für die Azimutantriebe von Windenergieanlagen während des eigentlichen Stillstandes.

Ferner ist es sinnvoll, die einzelnen Motoren der Azimutantriebe mit Hilfe eines Stromtransformators zu koppeln. Dies ist in Figur 5 gezeigt. ASM bedeutet hierbei Asynchronmaschine. Eine solche einfache dargestellte Gegenkoppelung stabilisiert die Antriebe.

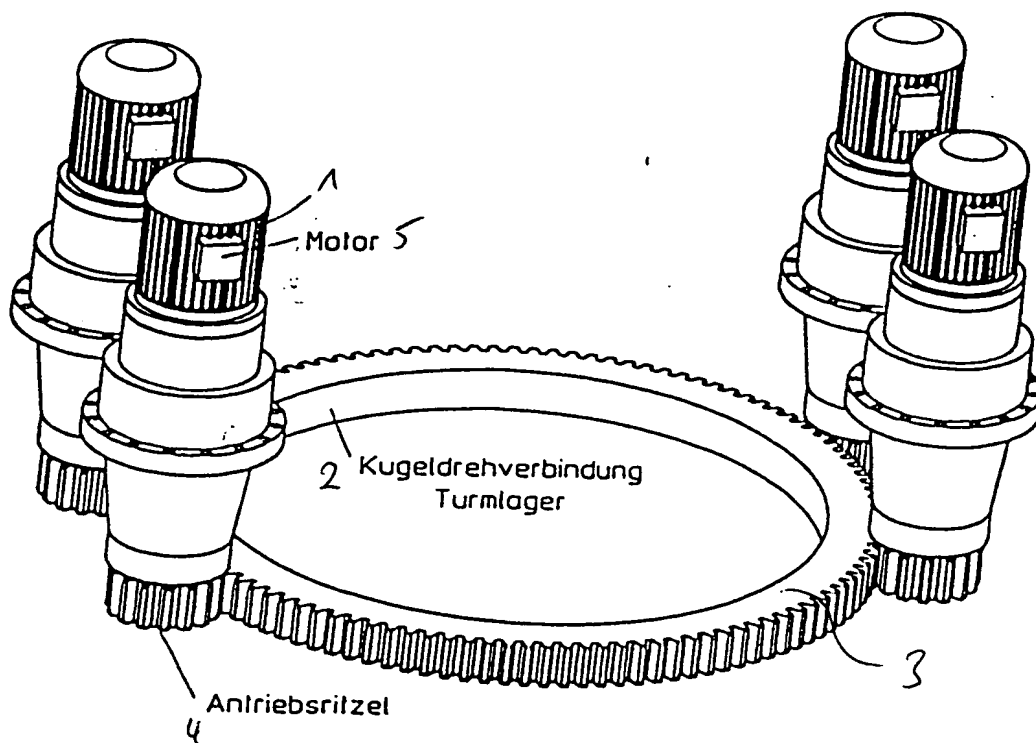
Figur 7 zeigt eine Teilschnittansicht einer bekannten Windrichtungsnachführung mit elektrischem Stellantrieb, wie sie aus Erich Hau, "Windkraftanlagen" Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1996, Seiten 268-271 bekannt ist.



## Ansprüche

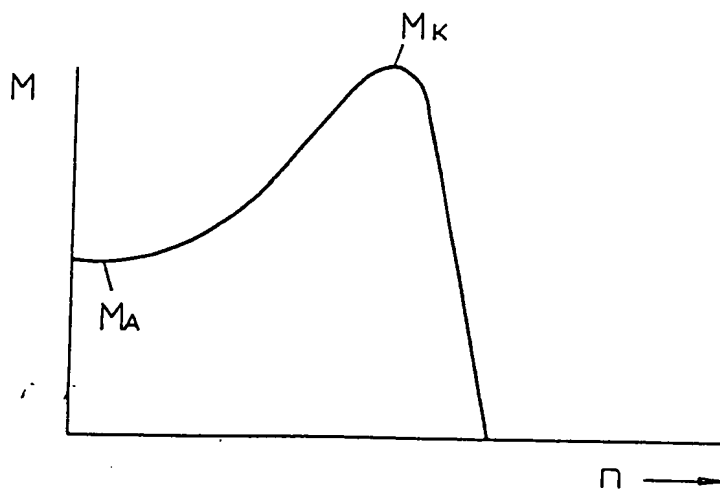
1. Windenergieanlage mit einem Maschinenhaus, der einen Rotor mit wenigstens einem Rotorblatt aufnimmt und einer Verstelleinrichtung zur Verstellung des Maschinenhauses zur gewünschten Ausrichtung des Rotors in Richtung des Windes, wobei die Verstelleinrichtung als Antrieb (1) einen Drehstrom-Asynchronmotor aufweist, der für eine Verstellung des Maschinenhauses mit einem Drehstrom beaufschlagt wird und während der Stillstandszeit des Maschinenhauses zeitweise oder vollständig mit Gleichstrom beaufschlagt wird.
2. Windenergieanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehstrom-Asynchronmotor nach Abschalten des Drehstroms zur Abbremsung mit dem Gleichstrom beaufschlagt wird.
3. Windenergieanlage nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbremsung des Drehstrom-Asynchronmotors am Ende des Verstellvorgangs mittels der Höhe des Gleichstroms gesteuert wird.
4. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstelleinrichtung mehrere Drehstrom-Asynchronmotoren aufweist, welche miteinander gekoppelt sind.
5. Windenergieanlage nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehstrom-Asynchronmotoren mittels eines Stromtransformators elektrisch miteinander gekoppelt sind.

# 4 Azimutantriebe

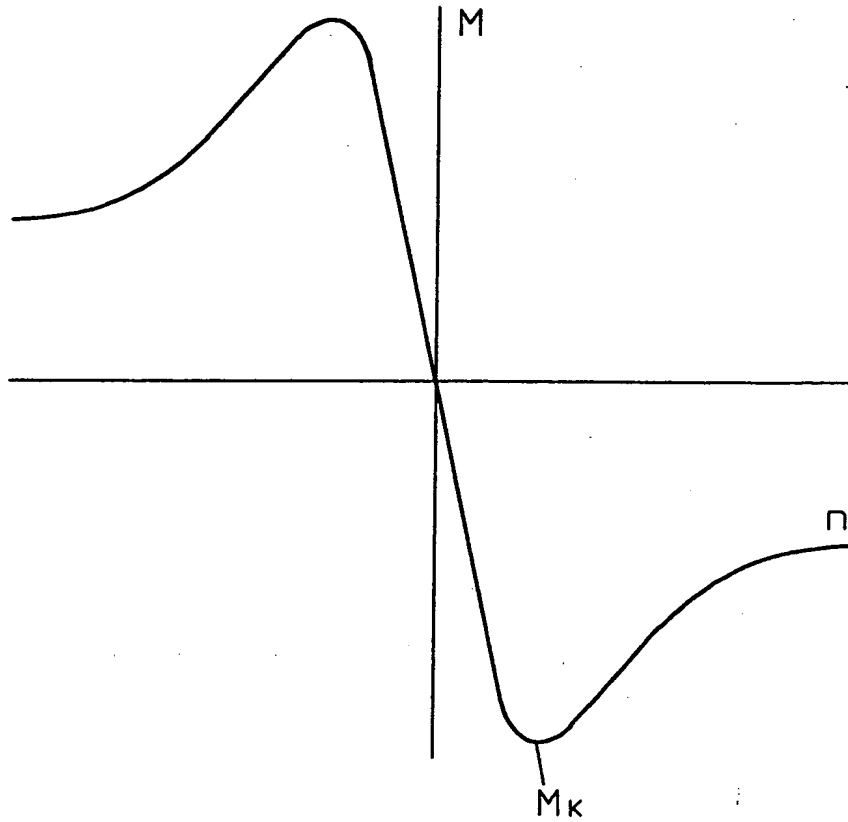


Figur 2

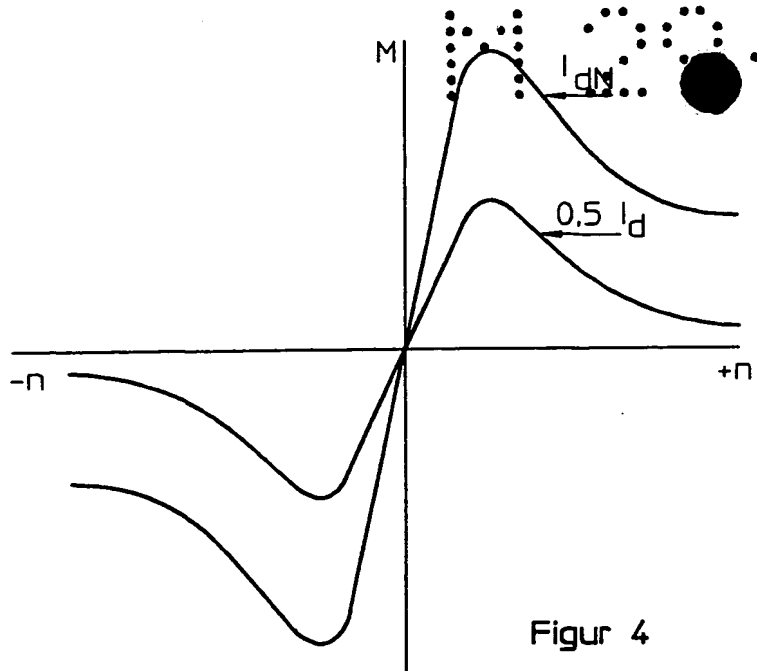
## Drehmoment/ Drehzahl Kennlinie einer Asynchronmaschine



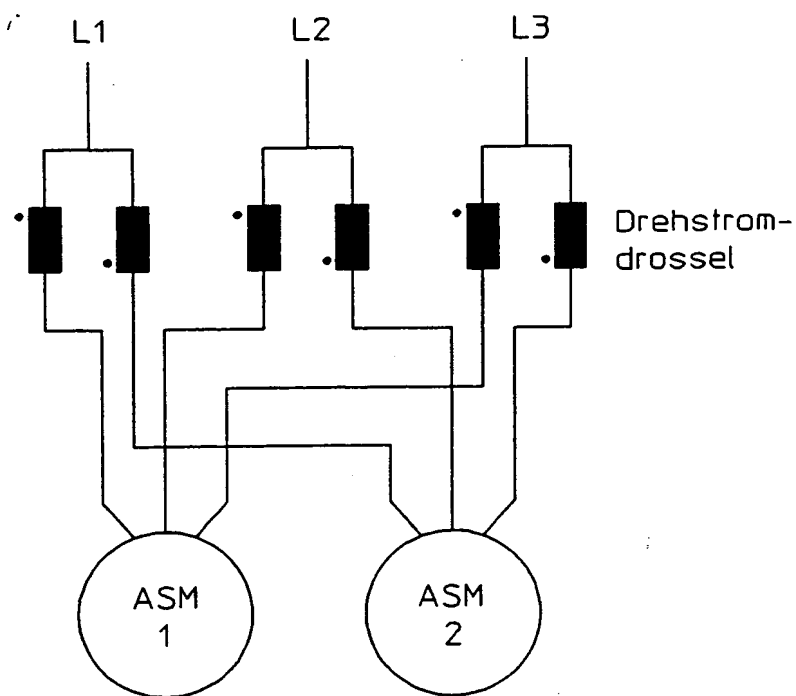
M 29.10.99



Figur 3



Figur 4



Figur 5

M 20.10.99

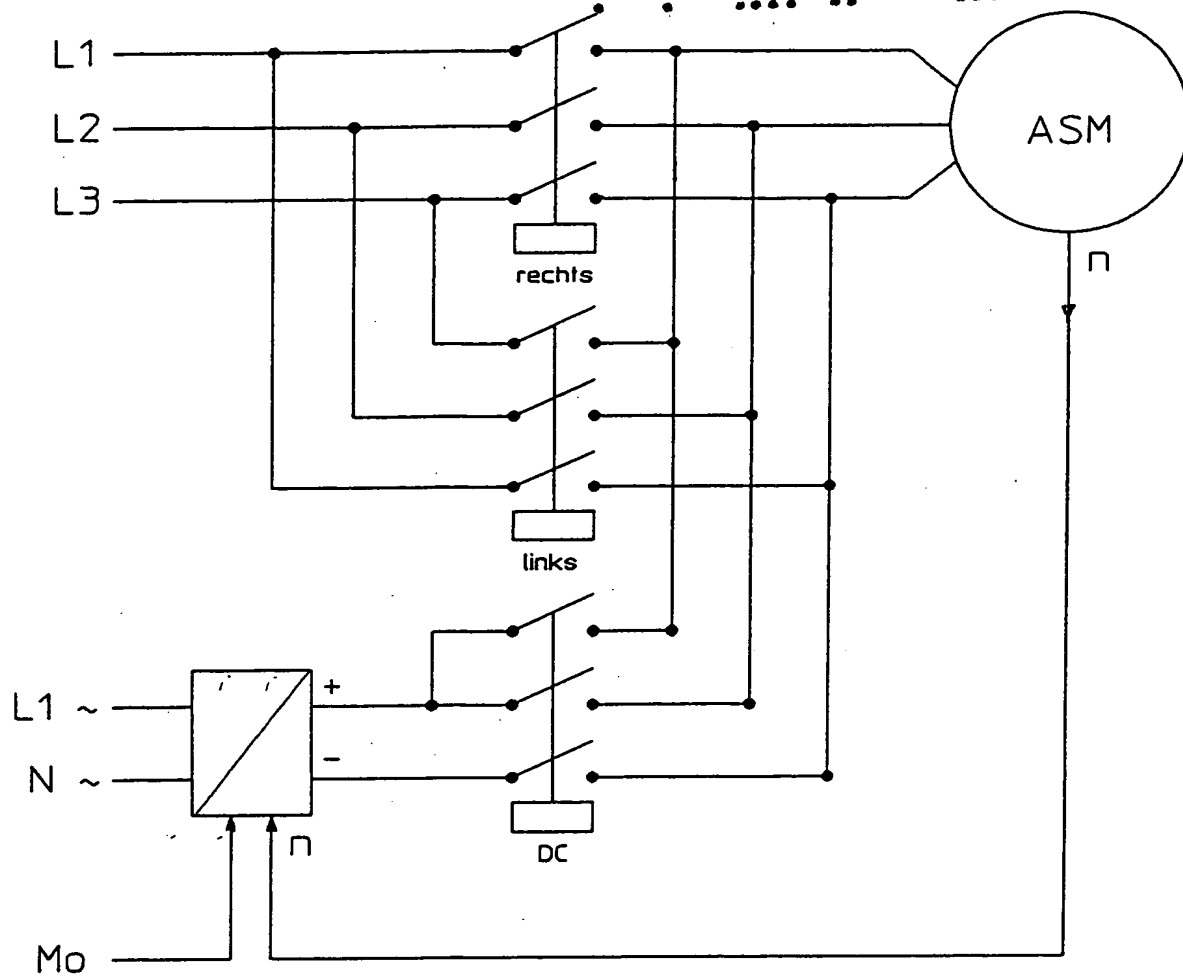


Fig. 6a

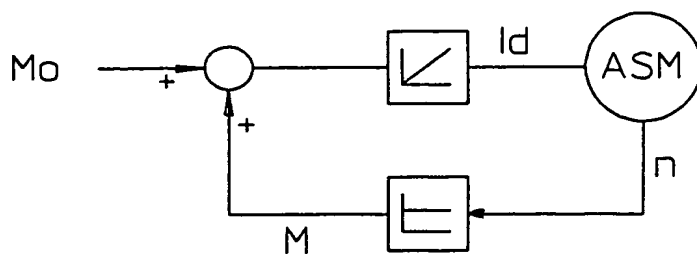
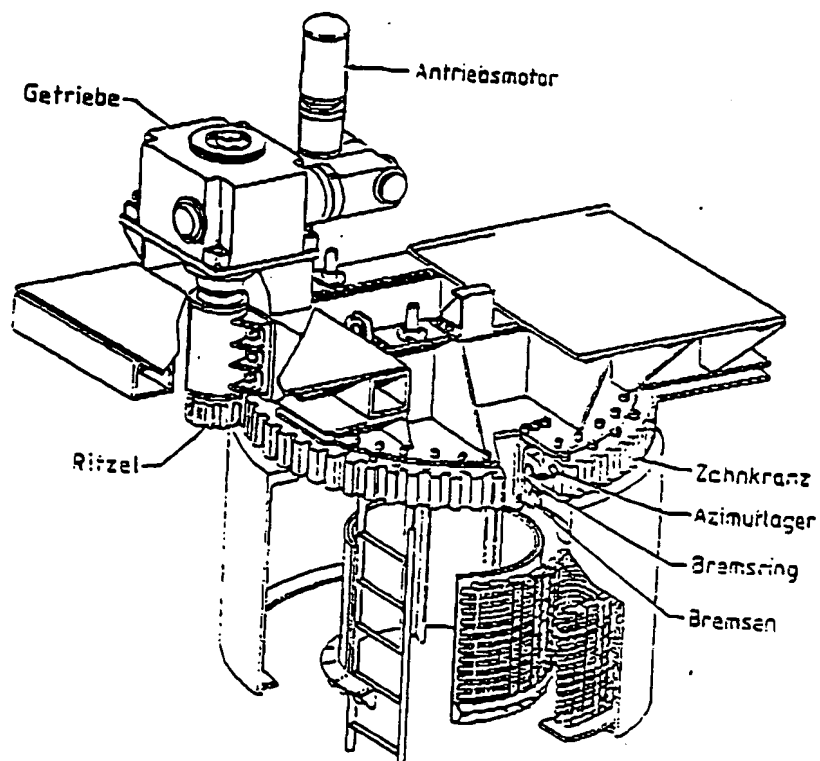


Fig. 6b

Figur 6

M 23.10.99



FIGUR ~~8~~ 7

097856654

REC'D 19 NOV 1999

WIPO

PCT

EDV

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Bescheinigung**

EP 99 / 7655

Herr Aloys W o b b e n in Aurich/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter  
der Bezeichnung

"Azimutantrieb für Windenergieanlagen"

am 26. November 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-  
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol  
F 03 D 7/00 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 18. Oktober 1999  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Aktenzeichen: 198 54 683.1

Jerofsky

<b>Hamburg</b> Patentanwalt European Patent Attorney Dipl.-Ing. J. Speiser Patentanwalt Dipl.-Phys. Frank Meier Rechtsanwalt Rainer Böhm	<b>Bremen</b> Patentanwälte European Patent Attorneys Dipl.-Ing. Günther Eisenfuhr Dipl.-Ing. Dieter K. Speiser Dr.-Ing. Werner W. Rabus Dipl.-Ing. Jürgen Brügge Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt Dipl.-Ing. Klaus G. Göken Patentanwälte Dipl.-Ing. Mark Andres Dipl.-Ing. Joachim von Oppen
<b>München</b> Patentanwälte European Patent Attorneys Dipl.-Phys. Gerhard Liedl Dipl.-Wirtsch.-Ing. Rainer Fritsche Lbm.-Chem. Gabriele Leißler-Gerstl Patentanwalt Dipl.-Chem. Dr. Peter Schuler	Rechtsanwälte Ulrich H. Sander Christian Spintig Sabine Richter
<b>Berlin</b> Patentanwältin European Patent Attorney Dipl.-Ing. Jutta Kaden	Martinistrasse 24 D-28195 Bremen Tel. +49(0)421-36 35 0 Fax +49(0)421-36 35 35 (G3) Fax +49(0)421-328 8631 (G4) mail@eisenfuhr.com
<b>Alicante</b> European Trademark Attorney Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt	

Bremen, den 26. November 1998

Unser Zeichen: W 1759 KGG/ssi

Anmelder/Inhaber: WOBGEN, Aloys

Amtsaktenzeichen: Neuanmeldung

Aloys Wobben, Argestraße 19, 26607 Aurich

### Azimutantrieb für Windenergieanlagen

Windenergieanlagen haben in der Regel für die Windrichtungsnachführung einen aktiven Antrieb. Dieser verdreht das Maschinenhaus der Windenergieanlage so, daß die Rotorblätter des Rotors in Richtung des Windes ausgerichtet werden. Dieser für die Windrichtungsnachführung benötigte Antrieb ist regelmäßig ein Azimutantrieb, welcher sich mit den zugehörigen Azimutlagern gewöhnlich zwischen Turmkopf und dem Maschinenhaus befindet. Bei kleinen Windenergieanlagen genügt ein Verstellantrieb, größere Windenergieanlagen sind in der Regel mit mehreren Azimutantrieben ausgestattet.

Bei der Windrichtungsnachführung des Maschinenhauses liefert ein Betriebswind-Meßsystem einen Mittelwert für die Windrichtung über einen gewissen Zeitraum, z.B. 10 Sekunden. Dieser Mittelwert wird immer wieder mit der momentanen Azimutposition des Maschinenhauses verglichen. Sobald eine Abweichung einen bestimmten Wert überschreitet, wird das Maschinenhaus entsprechend nachgestellt, so daß die Windrichtungsabweichung des Rotors, der Gierwinkel, möglichst gering ist, um Leistungsverluste zu vermeiden. Wie eine Windrichtungsnachführung bei bekannten Windenergieanlagen durchgeführt wird, ist in "Windkraftanlagen", Erich Hau, 2. Auflage, 1995, Seite 268 ff. bzw. 316 ff. beschrieben.

Bei bisher bekannten Windenergieanlagen übernimmt eine motorische Windrichtungsnachführung des Maschinenhauses, das Azimutverstellsystem, die Aufgabe,



den Rotor und das Maschinenhaus automatisch nach der Windrichtung auszurichten. Funktionell gesehen ist die Windrichtungsnachführung eines selbständige Baugruppe. Vom konstruktiven Standpunkt aus betrachtet, bildet sie den Übergang des Maschinenhauses zum Turmkopf. Ihre Komponenten sind teils im Maschinenhaus, teils in den Turmkopf integriert. Das Gesamtsystem der Windrichtungsnachführung besteht aus den Komponenten Stellantrieb, Haltebremsen, Verriegelungseinrichtung, Azimutlager und Regelungssystem. Diese Komponenten arbeiten wie folgt:

Für den Stellantrieb gibt es ähnlich wie für den Rotorblattverstellantrieb die Alternative hydraulisch oder elektrisch. Beide Ausführungen sind bei Windkraftanlagen üblich. Kleine Anlagen verfügen meistens über unregelte elektrische Antriebsmotoren. Bei großen Anlagen sind die hydraulischen Stellantriebe in der Überzahl.

Um zu vermeiden, daß das Giermoment um die Drehachse nach erfolgter Nachführung von Antriebsmotoren gehalten werden muß, ist eine Drehhemmung oder eine Gierbremse erforderlich. Anderenfalls wäre die Lebensdauer der Antriebsaggregate oder der vorgeschalteten Getriebe kaum zu gewährleisten. Kleine Anlagen begnügen sich meistens mit einer Drehhemmung im Azimutlager, für größere Anlagen sind mehrere lösbare Haltebremsen bekannt. Diese greifen auf einen Bremsring an der Innenseite des Turms oder umgekehrt an einem Ring am Maschinenhaus an. Während des Nachführvorgangs sind eine oder zwei Azimutbremsen im Eingriff, um die erforderliche Dämpfung der Verstellodynamik zu gewährleisten. Der Stellantrieb muß dabei so ausgelegt werden, daß er gegen diese Reibungsdämpfung nachführen kann. Das Azimut- oder Turmkopflager wird regelmäßig als Wälzlager ausgeführt.

In Figur 6 ist eine Teilschnittansicht eines bekannten Windrichtungsnachführungssystems mit elektrischem Stellantrieb der Westinghaus WTG-0600 dargestellt.

Während des Betriebs einer Windenergieanlage mit turbulenten Winden treten - in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Rotors - sehr hohe Kräfte und damit verbundene hohe und häufige Lastspitzen in den Azimutantrieben auf.

Wenn mehr als ein Azimutantrieb vorgesehen ist, kommt es zusätzlich zu einer sehr hohen Unsymmetrie in den einzelnen Antrieben. Diese Antriebe haben eine Übersetzung mittels eines Getriebes von ca. 15.000. Kleinste Abweichungen in der Verzahnung am Umfang des Trumlagers führen sofort zu sehr starken Unsymmetrien,

wenn mehr als ein Antrieb, z.B. vier Azimutantriebe, am Umfang des Trumlagers mit integrierter Verzahnung angebracht ist. Wegen der hohen Getriebeübersetzung entsprechen diese kleinen Abweichungen auf der Eingangsseite des Antriebs bis zum 15 bis 20 Umdrehungen auf der Ausgangsseite.

Das bedeutet im Ergebnis, daß während und nach jedem Verdrehvorgang des Maschinenhauses die gesamte Last und das gesamte Drehmoment gleichzeitig auf einzelne Antriebe, wenn möglich, gleichmäßig verteilt werden muß. Zusätzlich sollen die Antriebe bei starken Azimutlasten während der Stillstandszeiten bei zu hohen Lasten nachgeben und eine leichte Drehung des Maschinenhauses ermöglichen, damit sich eine entsprechende Entlastung einstellen kann.

Ferner treten während der Windnachführung des Maschinenhauses der Windenergieanlage bei starken Turbulenzen auch entsprechend hohe Drehmomente auf. Diese regen die Azimutantriebe derart an, daß die Motoren gegeneinander schwingen. Die Getriebe mit ihrem sehr hohen Übersetzungsverhältnis reagieren dabei wie eine Feder und große Drehmomentschwankungen der einzelnen Antriebe sind die Folge.

Es ist Aufgabe der Erfindung, den Azimutantrieb für Windenergieanlagen zu verbessern, so daß die vorstehend genannten Probleme beseitigt werden, eine konstruktiv einfachen Azimutantrieb zu schaffen, eine gleichmäßige Lastenverteilung für jeden Azimutantrieb zu gewährleisten und unerwünschte Drehmomentschwankungen der einzelnen Antriebe zu vermeiden.

Erfindungsgemäß wird eine Windenergieanlage nach Anspruch 1 vorgeschlagen. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Die erfindungsgemäße Windenergieanlage mit einem Maschinenhaus, das einen Rotor mit wenigstens einem Rotorblatt aufnimmt, zeichnet sich dadurch aus, daß die Verstelleinrichtung zur Verstellung des Maschinenhauses gemäß der jeweiligen Windrichtung als Azimut-Antrieb mindestens einen Drehstrom-Asynchronmotor aufweist, der während der Verstellung des Maschinenhauses mit Drehstrom und während der Stillstandszeit des Maschinenhauses zeitweise oder vollständig mit Gleichstrom beaufschlagt wird.

Nach dem Verstellvorgang mittels Drehstrom wird die Motoren abgeschaltet und erzeugt somit kein Drehmoment mehr. Um nunmehr auch für eine Bremswirkung des Antriebsmotors zu sorgen und während der Stillstandszeit beim Auftreten von

Lastspitzen noch ein ausreichendes Bremsmoment zu erhalten, wird der Drehstrom-Asynchronmotor unmittelbar nach der Trennung vom Drehstromnetz mit einem Gleichstrom beaufschlagt. Dieser Gleichstrom erzeugt ein stehendes Magnetfeld in den Asynchronmotor, der damit sofort abgebremst wird. Die Gleichstromversorgung bleibt möglichst während der gesamten Stillstandszeit bestehen.

Zur Unterdrückung von unerwünschten Drehmomentschwankungen wird erfindungsgemäß eine Drehmomentkontrolle vorgesehen. Die Abbremsung des Drehstrom-Asynchronmotors kann linear mit Hilfe der Höhe des Gleichstroms eingestellt werden. Damit ergibt sich eine einfache Drehmomentkontrolle für die Azimutantriebe von Windenergieanlagen während des Verstellvorgangs.

Ferner werden, wenn die Verstelleinrichtung mehrere Drehstrom-Asynchronmotoren aufweist, die Drehstrom-Asynchronmotoren mit Hilfe eines Stromtransformators in Gegenkopplung gekoppelt, so daß der einzelne Antrieb stabilisiert ist und der bislang unerwünschte Federeffekt unterdrückt wird.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels in den Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- |        |  |
|--------|--|
| Fig. 1 | eine schematische Anordnung von vier Azimutantrieben einer Verstelleinrichtung am Maschinenhaus; |
| Fig. 2 | eine Drehmoment/Drehzahl-Kennlinie eines Drehstrom-Asynchronmotors;                              |
| Fig. 3 | die Kennlinie eines Drehstrom-Asynchronmotors im Gleichstrombetrieb;                             |
| Fig. 4 | eine alternative Darstellung zur Fig. 3;   |
| Fig. 5 | ein Blockschaltbild einer Stromtransformatorkopplung von zwei Asynchron-Azimutantrieben;         |
| Fig. 6 | Teilschnittansicht einer bekannten Windrichtungsnachführung mit elektrischem Stellantrieb.       |

Windenergieanlagen haben in der Regel für die Windrichtungsnachführung einen aktiven Antrieb. Dieser verdreht den Maschinenkopf der Windenergieanlage so, daß die Rotorblätter des Rotors in Richtung des Windes optimal ausgerichtet werden. Der aktive Antrieb für die Windrichtungsnachführung ist ein Azimutantrieb mit dem zugehörigen Azimutlager und befindet sich in der Regel zwischen dem Turmkopf

und dem Maschinenhaus. Bei kleinen Windenergieanlagen genügt ein Azimutantrieb, größere Windenergieanlagen sind in der Regel mit mehreren Antrieben, zum Beispiel vier Antrieben, wie in Figur 1 dargestellt. Die vier Antriebe 1 sind gleichmäßig über dem Umfang des Turmkopfes 2 verteilt.

Während des Betriebs einer Windenergieanlage mit turbulenten Winden treten - in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Rotors - sehr hohe Kräfte und damit verbundene hohe und häufige Lastspitzen in den Azimutantrieben auf.

Wenn der Verstelleinzug zur Verstellung des Maschinenkopfes mehr als einen Azimut-Antrieb aufweist, kommt es zusätzlich zu einer sehr hohen Unsymmetrie in den einzelnen Antrieben 1. Diese Antriebe haben eine Übersetzung (Getriebe; nicht dargestellt) von ca. 15.000. Kleinste Abweichungen in der Verzahnung der Übersetzungsgetriebe am Umfang des Trumlagers führen sofort zu sehr starken Unsymmetrien, wenn mehr als ein Antrieb, am Umfang des Trumlagers mit integrierter Verzahnung angebracht ist. Wegen der hohen Getriebeübersetzung entsprechen diese kleinen Abweichungen auf der Eingangsseite des Antriebs bis zu 15 bis 20 Umdrehungen auf der Ausgangsseite.

Das bedeutet, daß während und nach jedem Verdrehvorgang des Turmkopfes die gesamte Last/Drehmoment gleichmäßig auf einzelnen Antriebe verteilt werden muß. Zusätzlich sollen die Antriebe bei starken Azimutlasten während der Stillstandszeiten - des Turmkopfes - bei zu hohen Lasten nachgeben und eine leichte Drehung des Maschinenkopfes ermöglichen.

Jeder Azimutantrieb weist einen eigenen - nicht dargestellten - Motor auf und die Motoren sind untereinander verschaltet und werden gemeinsam gesteuert. Wenn während der Windnachführung des Maschinenkopfes der Windenergieanlage - verursacht durch starke Turbulenzen - starke Drehmomente auftreten, regen diese Drehmomente die Azimutantriebe an, daß die Motoren gegeneinander schwingen oder zu Schwingung neigen. Die Getriebe mit ihrem sehr hohen Übersetzungsverhältnis reagieren dabei wie eine Feder was große Drehmomentenschwankungen der einzelnen Antriebe zur Folge hat.

Zur gleichmäßigen Aufteilung der Lasten während der Zeit, in der das Maschinenhaus nicht verdreht wird, zu gewährleisten wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, als Antriebsmotoren zum Azimut-Antrieb einen Drehstrom-Asynchronmotor als Asynchron-Antriebsmaschine einzusetzen. Deren Drehmoment/Drehzahl-Kennlinie

ist in Figur 2 dargestellt.  $M_A$  bedeutet Anfangsdrehmoment,  $M_K$  bedeutet Kippmoment.

Nach dem Verstellvorgang des Maschinenhauses werden die vier Drehstrom-Asynchron-Motoren abgeschaltet und erzeugen somit kein Drehmoment mehr. Um die Motoren abzubremsen und auch danach noch ein Bremsmoment zu erhalten, werden die Motoren umgehend nach der Trennung vom Drehstromnetz, möglichst sofort, mit einem Gleichstrom beauftragt. Dieser Gleichstrom erzeugt ein stehendes Magnetfeld in den Motoren (Asynchronmaschine), die damit sofort abgebremst werden. Diese Gleichstromversorgung bleibt möglichst während der gesamten Stillstandszeit bestehen.

Die Kennlinie eines Asynchronmotors im Gleichstrombetrieb ist in Figur 3 dargestellt. Der Antriebsmotor erzeugt mit der Gleichstrommagnetisierung im Stillstand kein Drehmoment. Aber mit steigender Drehzahl - bis etwa 6 % der Nenndrehzahl - steigt das erzeugte Drehmoment linear an und das symmetrisch in beide Drehrichtungen. Gemäß dieser Kennlinie wird die auftretende Last auch gleichmäßig auf alle Azimutantriebe verteilt und es stellt sich passiv immer ein Gleichgewicht ein.

Zur Drehmomentenkontrolle der Azimutantriebe kann die Steilheit der Bremskurve linear mit der Höhe des Gleichstroms eingestellt werden. Dies ist in Figur 4 dargestellt. Damit ergibt sich eine einfache Drehmomentenkontrolle für die Azimutantriebe von Windenergieanlagen während des Verstellvorgangs.

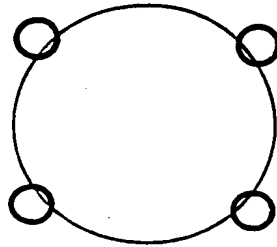
Ferner ist es sinnvoll, die einzelnen Motoren der Azimutantriebe mit Hilfe eines Stromtransformators zu koppeln. Dies ist in Figur 5 gezeigt. ASM bedeutet hierbei Asynchronmaschine. Eine solche einfache dargestellte Gegenkoppelung stabilisiert die Antriebe.

Figur 6 zeigt eine Teilschnittansicht einer bekannten Windrichtungsnachführung mit elektrischem Stellantrieb wie sie aus Erich Hau, "Windkraftanlagen" Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1996, Seiten 268-271 bekannt ist.

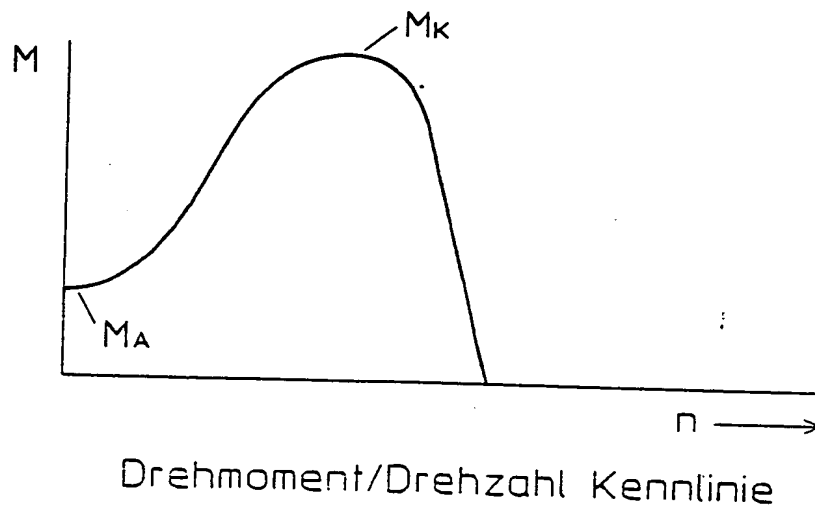
# Ansprüche

1. Windenergieanlage mit einem Maschinenhaus, der einen Rotor mit wenigstens einem Rotorblatt aufnimmt und einer Verstelleinrichtung zur Verstellung des Maschinenhauses zur gewünschten Ausrichtung des Rotors in Richtung des Windes, wobei die Verstelleinrichtung als Antrieb einen Drehstrom-Asynchronmotor aufweist, der für eine Verstellung des Maschinenhauses mit einem Drehstrom beaufschlagt wird und während der Stillstandszeit des Maschinenhauses zeitweise oder vollständig mit Gleichstrom beaufschlagt wird.
2. Windenergieanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehstrom-Asynchronmotor nach Abschalten des Drehstroms zur Abbremsung mit dem Gleichstrom beaufschlagt wird.
3. Windenergieanlage nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbremsung des Drehstrom-Asynchronmotors am Ende des Verstellvorgangs mittels der Höhe des Gleichstroms gesteuert wird.
4. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstelleinrichtung mehrere Drehstrom-Asynchronmotoren aufweist, welche miteinander gekoppelt sind.
5. Windenergieanlage nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehstrom-Asynchronmotoren mittels eines Stromtransformators elektrisch miteinander gekoppelt sind.

M 29.10.99

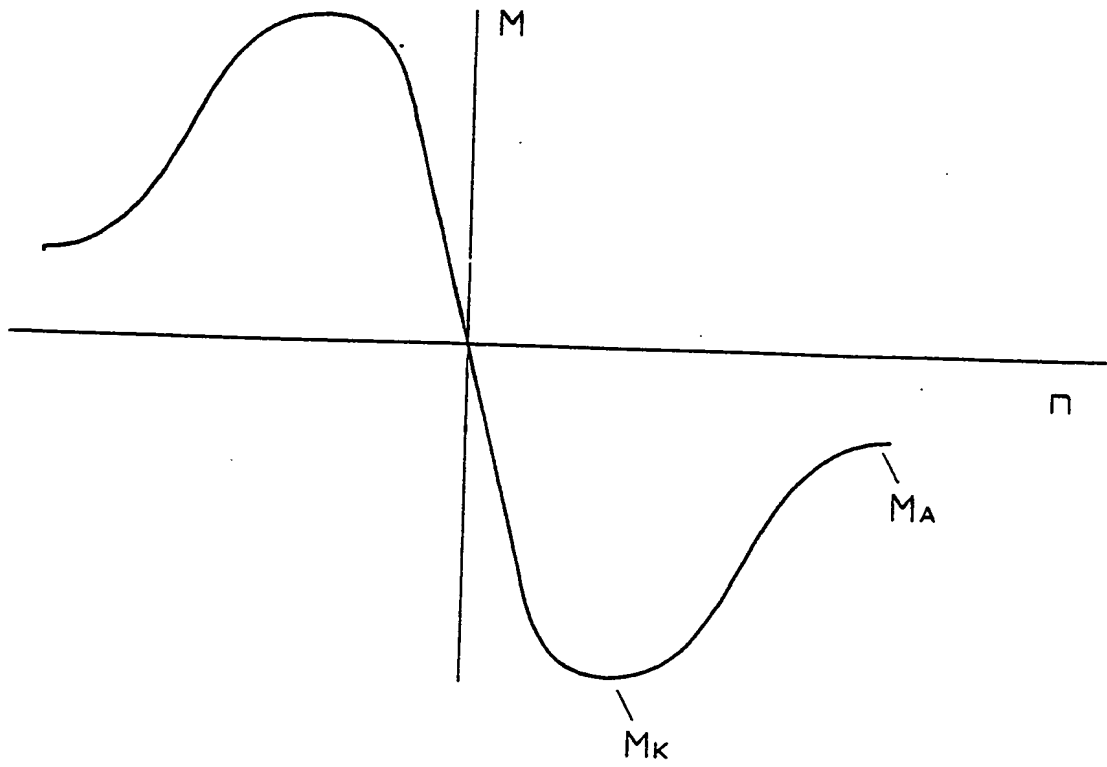


FIGUR 1



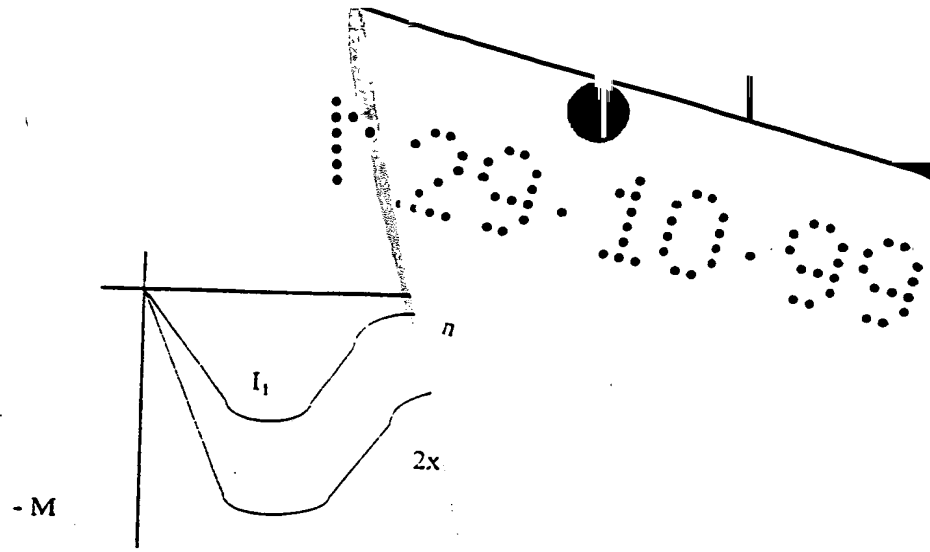
FIGUR 2

M 29.10.99

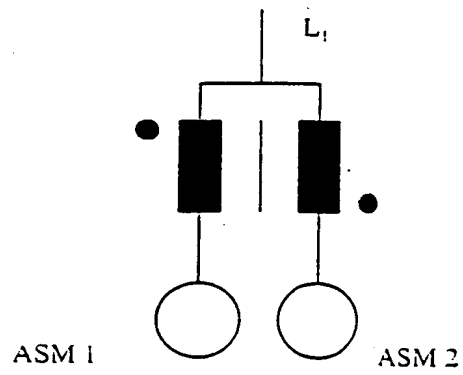


FIGUR 3



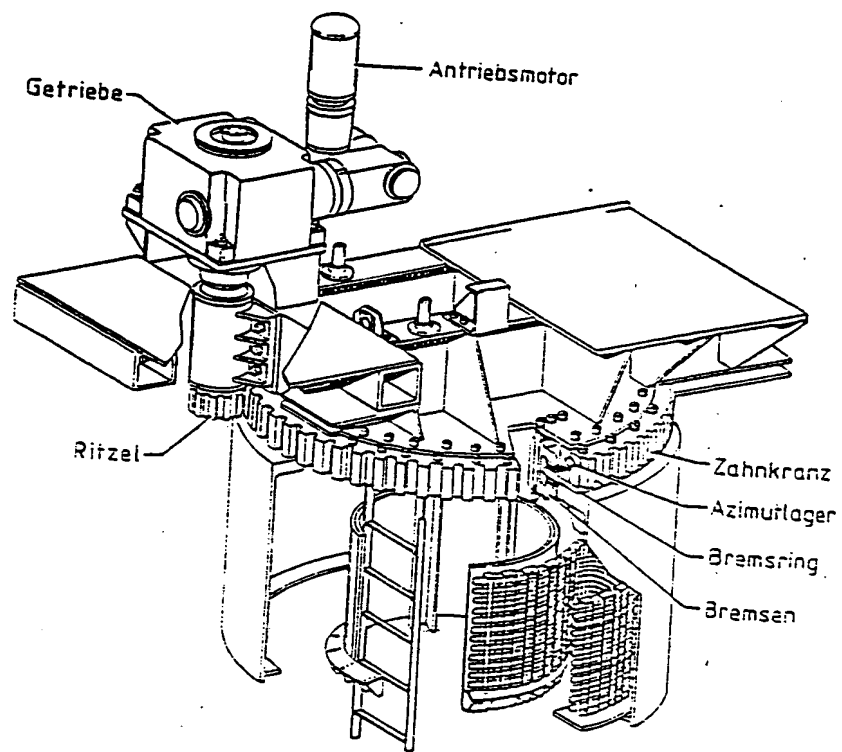


FIGUR



FIGUR 5

M 29.10.99



FIGUR 6